

高温センシングシステムの研究 第3報 システム用安定化直流電源

田 村 洋 一*

High Temperature Sensing System —A Study on the Supply of a Regulated DC Power Source—

TAMURA Yoichi

Synopsis

Regulated DC power source which can be operated up to 100°C is required for a high temperature sensing system in the heat resistant unit where maximum temperature is kept at 100°C by heat of water vaporization.

Four types of voltage regulator were tested from 20°C to 100°C. The dropout voltages and output voltages were measured for various output currents. One of these IC was continuously tested at 100°C for 1000 hours.

From these tests it is confirmed that the plastic encapsulated voltage regulator can be used for a high temperature sensing system.

1. 緒 言

水の蒸発熱を活用した断熱槽を用いた高温センシングシステムの研究・開発を現在進めている。高温センシングシステムへの具体的な電源供給方法についてはシステム設計の時点で検討することになるが、供給方法として主に有線で電源を供給する方法と直流電源を内蔵する方法が考えられる。可搬形の高温センシングシステムにおいては直流電源を内蔵する必要性が高い。このときはすでに報告した¹⁾高温で動作可能な二次電池を使用することになるが、放電するにしたがい電圧は低下する。一方センシングシステムの動作電源としては一般に定電圧電源が要求される。この目的のため

に、現在3端子電圧安定化集積回路が広く使用されている。

3端子電圧安定化集積回路は、供給電源と負荷の間に直列に挿入しこの間の電圧降下を制御することで負荷の電圧を一定に保っている。したがってこの電圧降下量と負荷電流の積の電力は少なくとも3端子電圧安定化集積回路内で消費される。高温センシングシステム内は最大100°Cで動作させる必要があるので、IC内で消費される電力を簡単に放熱することは難しい。電圧安定化回路での入力電圧値と出力電圧値との差（以降ドロップアウト電圧と呼ぶ）が少ないことが熱対策上も好ましい条件である。またドロップアウト電圧が大きいと、その分だけ直流電源用の電池セル数を増加する必要性も考えられるので、ドロップアウト電

* 工学部 機械工学科 情報制御工学コース 教授
2002年6月14日受付

圧の小さな3端子電圧安定化集積回路を使用することが有利となる。

現在市販されている3端子電圧安定化集積回路にはドロップアウト電圧が1.7V程度の一般型と0.4V程度の低ドロップアウト形の2種類がある。これら市販のものから各々2個ずつ選択し、そのドロップアウト電圧と出力電圧が負荷電流と温度によってどのように変化するか調査した。また低ドロップアウト電圧の3端子電圧安定化集積回路を100°Cの雰囲気内で1000時間連続運転し、テスト中の特性を測定するとともにテスト前後で特性変化がないかを調査した。その結果から高温センシングシステム内でシステム用電源として一定電圧を供給する方法について結論を得ることが出来た。

2. 調査対象

今回、電源としての目標はDC 5 V, 100mAを安定に供給できることとした。調査の対象にした集積回路の主な仕様を表1に示す。サンプルAとサンプルBが低ドロップアウト形の3端子電圧安定化集積回路であり、ドロップアウト電圧は0.3~0.45V程度であるのに対して、サンプルCと

サンプルDが一般の3端子電圧安定化集積回路でありそのドロップアウト電圧は1.7V程度である。その差は大体ニッケルカドミウム電池1個分に相当する。

今回使用した3端子電圧安定化集積回路が消費できる電力値は周囲温度が25°Cのとき、700から800mWである。一定の電力を消費した状態で周囲温度が上昇すると、熱抵抗が温度の関数でないと仮定すればICの接合部温度は周囲温度の上昇分だけ増加する。したがって周囲温度が上昇するにしたがいICでの許容電力損失は低下する。接合部温度の最大値は150°Cとされている。

動作周囲温度は規格上では最大で+85°Cである。工業品用規格として一般に規定されている値である。ICの接合部と周囲空気間の熱抵抗はサンプルAからサンプルCは180°C/Wと公表されているがサンプルDは156°C/Wと公表されている。ICパッケージはいずれも標準のTO-92形であるが、サンプルDのみ高さが高く対流伝熱面積が大きいために熱抵抗が少し小さくなっているものと推定している。

出力最大電流はサンプルBとサンプルDが150mAであり、他のICは100mAである。

表1 実験に使用した3端子電圧安定化電源回路の公表されている特性値

		単位	サンプルA	サンプルB	サンプルC	サンプルD
形 式			低ドロップ アウト型	低ドロップ アウト型	一般仕様品	一般仕様品
絶 対 最 大 定 格	許容損失 (Ta=25°C)	mW	700	内部で制限	700	800
	動作周囲温度	°C	-30~+85		-20~+85	-30~+85
	入力電圧	V	16	60	30	35
	動作接合温度	°C	-30~+150	-40~+125	-20~+150	+150
	保存温度	°C	-55~+150	-65~+150	-55~+150	-55~+150
	接合部と周囲空気間の熱抵抗	°C/W	180	180	180	156
電 気 的 特 性	ドロップアウト電圧	V	Max 0.3 (40mA 時)	Max 0.45 (150mA 時)	Typ. 1.7	Typ. 1.7
	出力電圧	V	4.8~5.2	4.9~5.1	4.8~5.2	4.8~5.2
	最大出力電流	mA	100mA 程度	150	100	150
	負荷安定度	mV	Max 80 (100mA 時)	Max 100 (150mA 時)	Max 60 (100mA 時)	Max 60 (100mA 時)
	出力電圧温度変化	mV/°C	Typ. 0.2	Typ. 0.25	Typ. 0.4	Typ. -0.6
	回路動作電流	mA	Typ. 10 (100mA 時)	Typ. 4 (150mA 時)	Typ. 2.3 (40mA 時)	Typ. 3.1 (40mA 時)

3. 実験方法

実験は最初に4種類の3端子電圧安定化集積回路の温度および負荷が変化したとき、ドロップアウト電圧がどのような特性を示すか実測した。その結果から高温センシングシステム用の電源ICとして適切なものを選び、100°Cでの連続負荷試験を実施した。

3.1 測定装置

電源ICの特性を測定する計測システムのブロック図を図1に示す。テスト回路は恒温槽内に挿入されている。テスト回路の入力電圧と負荷電流はパソコンから設定できるようになっている。パソコンとデータ収集装置はシリアル伝送(RS232C, 19200Baud)で接続されている。データ収集装置のアナログ出力電圧は、電力増幅器を通してテスト回路に供給されている。またデータ収集装置のアナログ出力電圧で電源ICに負荷電流を設定できるようになっている。テスト回路のアナログデータはリードリレーを用いたスキャナーによりデータ収集装置を経由したパソコンに取り込まれる。主な計測機器の仕様を以下に示す。なお電源ICの周囲温度はプリント基板に取り付けたシース型白金測温抵抗体(Pt100, シース外径

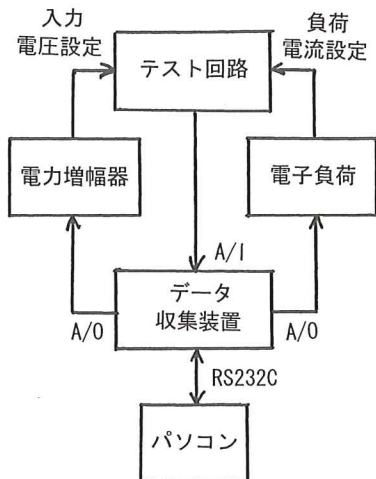


図1 実験装置のブロック図

3.2mm)で測定している。

パソコン：DOS/V 互換型ノートパソコン。データ収集を実施するソフトウェアは Windows95 上で動作するアジレントテクノロジー社の VEE (Visual Engineering Environment) である。

データ収集装置：アジレントテクノロジー社の 34970A にアナログ入力とアナログ出力のモジュールを搭載したものである。

電力増幅器：ハイパワーオペアンプ (BURR-BROWN OPA541AP) を用いた増幅器。電圧ゲインは1であり、最大出力電流を1.2Aで設計した。

電子負荷：入力電圧0~10Vに対して一定電流0~100mAを負荷として流すことができる。負荷電流に直列に1Ωのシャント抵抗を挿入し電流値を実測できるようにしている。

テスト回路の詳細を図2に示す。ICソケットの特性や信頼性が不明であるので、図2の回路は試験するICごとに製作した。電源ICは恒温槽内に挿入するが、測定系は恒温槽外に設置するのでリード線がかなり長くなるので、電源ICの入力電圧、出力電圧は電流を流すリード線の影響を受けないように電圧測定用リード線を用いている。回路は以下の部品を用いて組み立てている。

プリント基板：ガラスエポキシ製のユニバーサル基板

ハンダ：耐熱疲労形ハンダ Sn63%

電解コンデンサ：22μF16V。耐熱温度105°C。

リード線：直流入力、出力部(電流を流すリード線)は耐熱120°Cの導線を使用。電圧測定用リード線はテフロン被覆の2芯耐熱シールド線を使

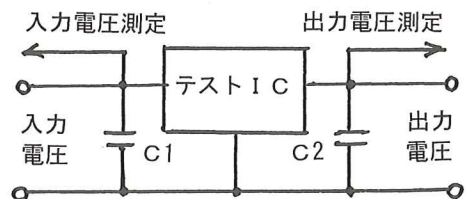


図2 電源IC用テスト回路図

用している。

3.2 実験手順

- (1) 4種類の電源用ICの特性として、入力電圧と出力電圧の関係を周囲温度、負荷電流を変化させて測定した。実験は図2の回路部分のみを恒温槽内に挿入し、恒温槽温度を20°Cから100°Cまで10°Cピッチで変化させて測定した。恒温槽温度が一定になった状態で電源ICの負荷電流を10mAから100mAまで10mAピッチで変化させて電源ICの入出力電圧特性を求めた。
- (2) 上記の実験結果から予想通り低ドロップアウト型の電源用ICは一般型の電源用ICに比べて性能が良いことが判明した。後述するようにサンプルAとサンプルBでは特性にそれほど差がないので、入手が容易で安価であるサンプルAについて、100°C1000時間の連続試験を実施した。試験条件を表2に示す。内容は以下の通りである。

試験温度：100°C

試験時間：1000時間

試験した電源用ICの数：4個

負荷電流：100mA（負荷抵抗50Ω一定にて試験）

入力電圧：No.1 サンプル；約6 V，No.2 サンプル；約7 V，No.3 サンプル；約8 V，No.4 サンプル；約9 Vの4水準

この連続試験中に電源用ICの劣化が生じていないかを確認するために、試験の前後で電源用ICの入力電圧～出力電圧特性を測定した。測定温度は20°Cと100°Cの2水準である。電源用ICの負荷電流は10mAから100mAまで10mAピッチで測定した。

表2 100°Cでの連続試験条件（実験用ICは表1のサンプルA）

	単位	No.1 IC	No.2 IC	No.3 IC	No.4 IC
入力電圧	V	約6	約7	約8	約9
出力電圧	V	5.05	5.00	5.07	5.01
負荷抵抗	Ω	50	50	50	50
IC内部消費電力*	mW	106	207	305	406

*負荷電流によるIC内部消費電力のみであり、回路動作用の消費電力は含まれていない。

4. 実験結果

4.1 実験データの解析方法

図3にサンプルAについて測定した入力電圧～出力電圧の特性の一例を示す（測定条件：周囲温度20°C，負荷電流10mA および周囲温度100°C，負荷電流100mA）。入力電圧を増加するにしたがい出力電圧は直線的に増加する。その後出力電圧を一定に制御できうる領域にはいり、出力電圧はほぼ一定になる。この二つの領域を二本の直線で近似し、二本の直線の交点を求める。この交点の（X座標値－Y座標値）をドロップアウト電圧値と定義する。以降電源用ICの性能評価の指標として用いる。また出力電圧値は入力電圧値が6 V（一般仕様品は入力電圧が7 V）の時の値を代表値として採用した。

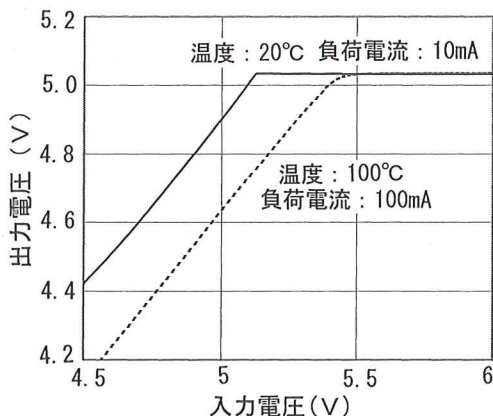


図3 電源ICの入出力特性例（サンプルA）

4.2 電源ICの負荷電流・温度特性測定結果

ドロップアウト電圧の負荷電流・温度特性を図4～図7に示す。ドロップアウト電圧は負荷電流の増加にしたがいすべての場合で増加している。しかし増加の傾向は、サンプルAでは負荷電流の増加にしたがいドロップアウト電圧の増加率は大きくなっているがサンプルBではドロップアウト電圧の増加率は減少している。サンプルCとDの

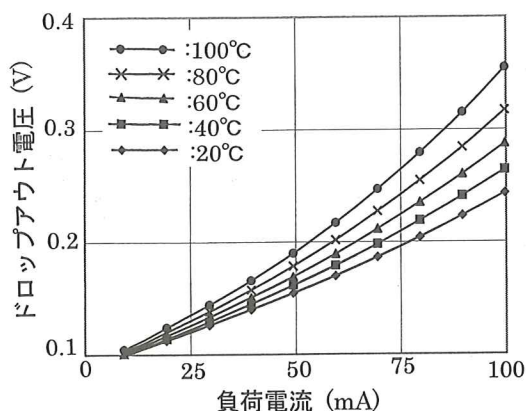


図4 ドロップアウト電圧の負荷電流・温度依存性 (サンプルA)

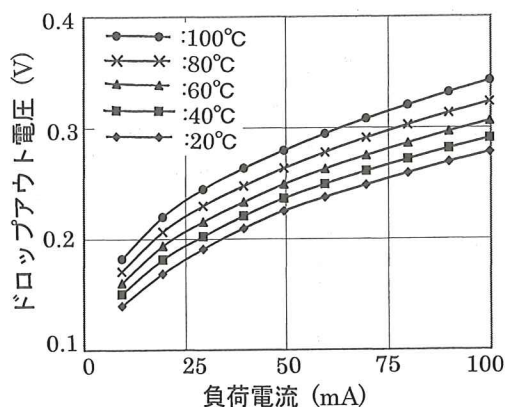


図5 ドロップアウト電圧の負荷電流・温度依存性 (サンプルB)

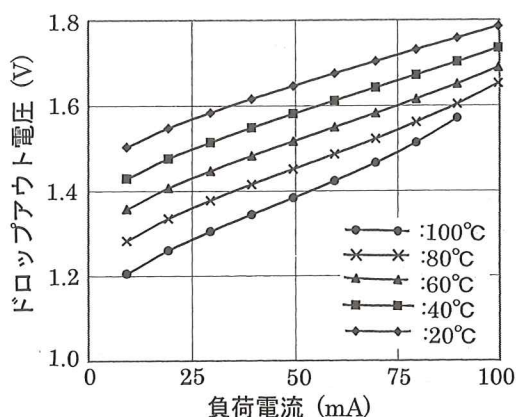


図6 ドロップアウト電圧の負荷電流・温度依存性 (サンプルC)

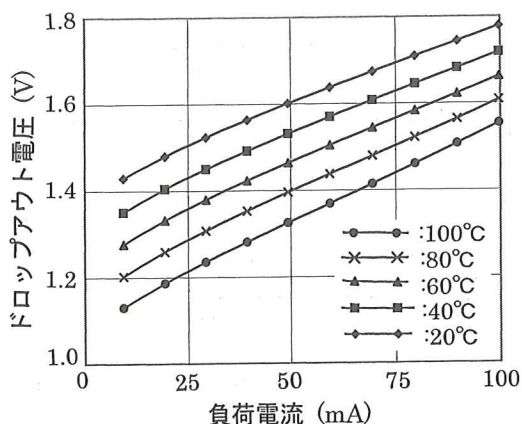


図7 ドロップアウト電圧の負荷電流・温度依存性 (サンプルD)

一般の電源用ICは負荷電流にほぼ比例してドロップアウト電圧が増加している。

温度特性に関しては、低ドロップアウト電源ICは温度の上昇とともにドロップアウト電圧が増加し、増加率は大体一定である。一方一般の電源用ICは温度が上昇するとドロップアウト電圧は減少している。

実験した範囲でのドロップアウト電圧の値は、低ドロップアウト電源ICで0.1V～0.35Vであったのに対して一般の電源用ICでは、1.1V～1.8Vであった。この差はニッケルカドミウム電池のセル1個分にほぼ相当するので、低ドロップ

アウト型の電源ICを使用することにより電池1個分の節約につながる。

低ドロップアウト電源ICの出力電圧の負荷電流・温度特性を図8～図9に示す。この図は入力電圧を6V一定にしたときの出力電圧値である。サンプルAは負荷電流の増加とともに出力電圧は低下しているが、サンプルBはほぼ一定値を示しており優れた特性である。温度特性に関しては、温度が上昇するにつれ、出力電圧は増加する。しかしその値は10mV程度であり、高温センシングシステムの供給電源としては問題ない値である。

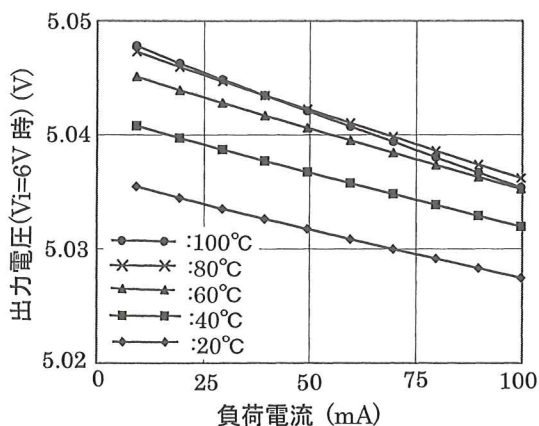


図8 出力電圧の負荷電流・温度依存性 (サンプル A)

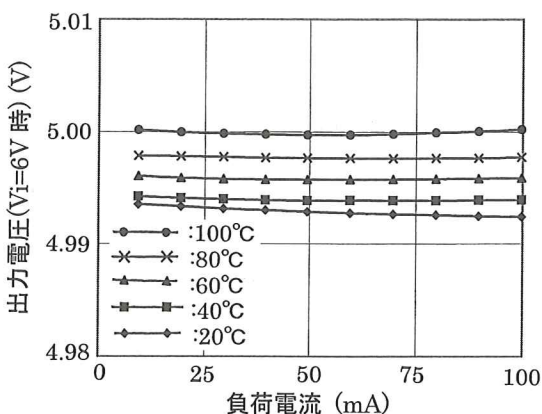


図9 出力電圧の負荷電流・温度依存性 (サンプル B)

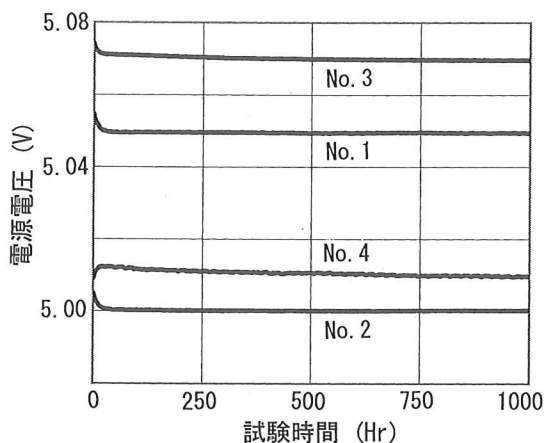


図10 100°Cでの連続負荷テスト結果

4.3 100°Cでの連続テスト結果

1000時間連続テストを実施しているときに電源用ICの出力電圧がどのように変化したかを図10に示す。No.1 サンプルからNo.3 サンプルまではテスト初期に出力電圧が少し低下したがその後は一定の値であった。No.4 サンプル (内部消費電力が一番大きい) についてはテスト初期に出力電圧が少し上昇したがその後は一定の値で推移していた。結論として100°Cで1000時間使用しても問題ないものと判断できる。

この実験条件ではIC内部で消費された電力は

約100mW から400mW である。ただし電源ICを動作させるのに必要な電流を測定しなかったため、この分は含まれていない。表1の回路動作電流の代表値を用いると、60mW から90mW 加算する必要がある。

連続テストの前後で特性が変化していないかを100°Cでのドロップアウト電圧の変化で評価した。その結果を図11と図12に示す。図11はNo.1の電源ICについて示してある。これはIC内部での消費電力が一番少ない実験条件に対応する。図12はNo.4の電源ICについて示してある。これはIC内部での消費電力が一番大きい実験条件に対応する。実験前後のドロップアウト電圧はほぼ重なるので、図は実験後のドロップアウト電圧に50mVを加算して図示している。

図から判るように実験前後で100°Cでのドロップアウト電圧の負荷特性は同じであり、100°C、1000時間の連続テストで電源ICの特性は変化していないといえる。なおここには図示していないが20°Cでのドロップアウト電圧の負荷特性、入力電圧6V時の出力電圧に関しても連続テスト前後での変化はなかった。

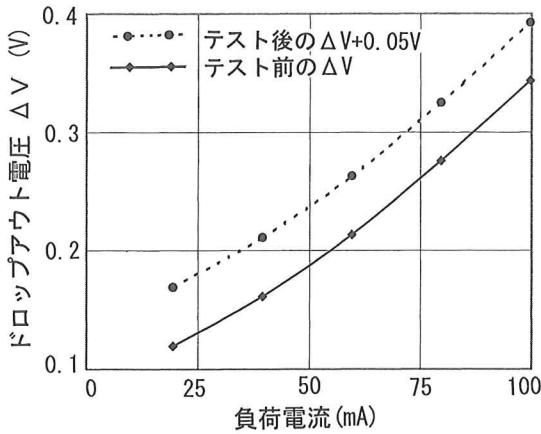


図11 連続テスト前後のドロップアウト電圧特性 (100°C) (No.1 IC 入力電圧 6 Vで1000Hr テスト)

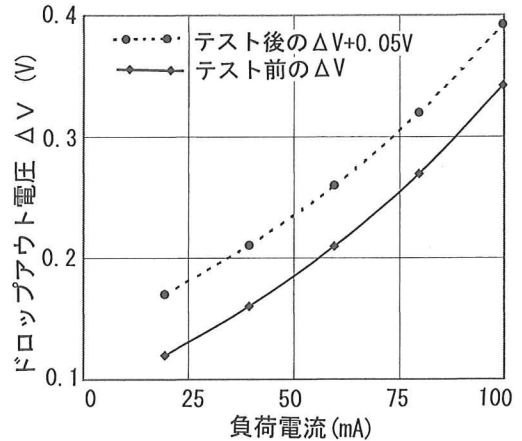


図12 連続テスト前後のドロップアウト電圧特性 (100°C) (No.4 IC 入力電圧 9 Vで1000Hr テスト)

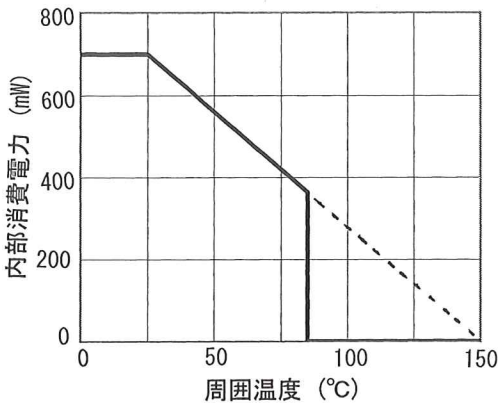


図13 電源用ICの周囲温度と内部消費電力の関係 (サンプルA)

5. 考 察

電力を消費する半導体においては扱える電力量は周囲温度の上昇とともに減少する。最大許容電力値は一般に次式で解析されている²⁾。

$$PD_{\max} = \frac{Tj_{\max} - Ta}{Rth_{ja}} \quad (\text{W}) \quad (1)$$

ここで PD_{\max} は電源ICが消費できる最大の電力量 (W), Tj_{\max} はIC内接合部温度 (°C) の最大値

Ta は周囲温度 (°C) そして Rth_{ja} はIC内接合部と周囲との間の熱抵抗 (°C/W) である。

サンプルAのメーカーが提示している許容できる消費電力と周囲温度との関係を図13に示す。図および表1からわかるように接合部の最大温度は150°Cに設定されている。周囲温度が25°C以上においては、接合部～周囲間の熱抵抗180°C/Wにしたがって最大内部消費電力を減らしている。周囲温度が85°C以上については、メーカーとしては保証しないので許容内部消費電力をゼロにしている。しかし点線で示した内部消費電力以下であれば、接合部温度という観点からは使用可能であるものと考えられる。周囲温度が100°Cのときの最大許容内部消費電力を計算すると280mWが得られる。

表2に示した連続試験時の条件では、入力電圧を約9Vに設定したNo.4電源ICでは上記の値を約50%程度越えている(ただし回路動作の消費電力を含まない)。しかし1000時間連続運転中の特性、連続運転前後の特性が変化していないことを考えると、かなりの余裕を持っているものと判断できる。これはメーカーが提示している最大接合温度か接合部～周囲間の熱抵抗値に相当の余裕を持たせているのか、実験を実施したサンプル数が少ないためたまたま良い結果が得られたかは判断出来ない。

高温センシングシステムでは、ニッケルカドミウム電池 5 個を直列に接続した電源を安定化することを想定しているので、電源用 IC への供給電圧は 7 V から 5.5 V であるので、100°C での連続使用は十分可能であると判断できる。

6. 結 論

高温センシングシステムにおいてシステム電源を内部供給するときに、ニッケルカドミウム電池を供給源とすると安定化する必要がある。この目的は低ドロップアウト型の 3 端子電圧安定化集積回路を用いることによりシステム電源として直流 5 V, 100mA が供給できることを実験的に確認した。低ドロップアウトの 3 端子電圧安定化集積回路を用いることで、電源 IC 内での消費電力を少なくできるとともに二次電池のセル数を減少できることが確認できた。

工業用として市販されている集積回路の上限温度は 85°C としている。より高い温度での使用に関してはメーカーとしては保証しないが、試験を実施していないためと推定できる。実験したサンプル数が少ないので断定した結論とはならないが、より高温での使用が可能であるように思われる。

参考文献

- 1) 田村洋一：高温センシングシステムの研究—第 2 報 二次電池の高温特性—，長崎総合科学大学紀要, Vol. 42 (2001), Nos. 1-2, PP. 95-108
- 2) 例えば東芝「電源用 IC データブック」P23